

**Les glissements de terrain à Saint-Jean-Vianney,  
45 ans plus tard.  
Éléments de réflexion**

par

**Denis W. ROY**  
Professeur émérite en géologie à l'UQAC

Centre d'études sur les ressources minérales  
Université du Québec à Chicoutimi

4 mai 2016  
Avec corrections mineures le 23 janvier 2017

## RÉSUMÉ

La sécurité publique future du site de Saint-Jean-Vianney demeure difficile à évaluer faute d'une compréhension suffisante des glissements de terrain survenus en 1663 et en 1971.

Saint-Jean-Vianney se situe au cœur d'une grande dépression (22 km<sup>2</sup>) ouverte sur le Saguenay et allongée du NO au SE (7,5 km par 4 km). Cette dépression résulte des glissements de terrains provoqués par le tremblement de terre majeur de Charlevoix (5 fév. 1663) et ses répliques. Ces glissements se sont produits successivement sur deux surfaces superposées, d'abord à 80 m d'altitude dans l'ensemble de la cicatrice, et ensuite, à environ 55 mètres d'altitude dans sa demie SE. Des masses démembrées d'argile plutôt intacte, entourées d'argile remaniée et plus ou moins recouvertes du dépôt sablonneux préexistant demeurent sur ces surfaces.

L'événement du 4 mai 1971 (0,32 km<sup>2</sup>) forme une dépression triangulaire de 1 100 m de longueur par 600 m de largeur et de 15 à 30 mètres de profondeur près du centre de la cicatrice de 1663. Cette coulée avait été précédée, le 20 avril 1971, par un décrochement de terrain d'un hectare (100 m x 100 m) qui avait ouvert la brèche dans le versant SO du ruisseau Petit-Bras par laquelle la coulée principale s'est engouffrée. Il s'agit d'une « *coulée d'argile liquéfiée* » qui a rapidement rejoint le Saguenay via la rivière aux Vases emportant au passage le pont du rang des « *Terres rompues* ». Ce glissement important a englouti une partie du village (42 maisons) et causé la mort de 31 personnes.

Les travaux géotechniques de l'été 1971 ont permis de bien caractériser le site, de stabiliser le niveau d'érosion du ruisseau Petit-Bras à l'aide d'un ensemble de gabions et d'adoucir les pentes abruptes qui ceinturaient la cicatrice. Mais, la cause ultime du glissement est demeurée évasive.

Les travaux géotechniques faits à l'occasion du 30<sup>e</sup> anniversaire du glissement de 1971 visaient à bien documenter les caractéristiques des argiles déplacées et remaniées dans lesquelles ce dernier s'était produit. Ils ont, en outre, permis d'identifier deux autres surfaces de rupture spécifiques aux événements de 1971. Mais l'évolution en profondeur de la salinité des eaux interstitielles des argiles sur leur indice de liquéfaction n'a alors pas été réétudiée.

Pour comprendre la localisation de ces glissements de terrain et compléter l'évaluation de la stabilité du site, il faut maintenant investiguer le rôle possible d'une nappe d'eau souterraine captive sous le massif d'argile entre la rivière Shipshaw (en amont de Saint-Jean-Vianney) et la rivière Saguenay (à l'embouchure de la rivière aux Vases).

## REMERCIEMENTS

Nous voulons d'abord remercier Monsieur Denis Coulombe, directeur du service d'aménagement du territoire et urbanisme de la ville de Saguenay, et Madame Julie Bolduc, chargée de projet (Chicoutimi), d'avoir invité le Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'UQAC à participer à l'élaboration d'un projet de parc urbain dans le secteur de Saint-Jean Vianney. Invitation qui arrive à point nommé pour initier une réévaluation scientifique de la sécurité du site.

Monsieur Réal Daigneault, directeur du CERM, a accepté la suggestion de Messieurs Alain Rouleau et Ali Saeidi, respectivement professeurs d'hydrogéologie et de géomécanique à l'UQAC, de publier cette courte synthèse comme un Cahier du CERM. L'auteur a grandement profité de ses nombreuses discussions au cours des années avec Monsieur Adam Nagy, professeur retraité de géologie à l'UQAC et participant aux études géotechniques de l'été 1971 à Saint-Jean-Vianney.

Monsieur François Labarre, ingénieur à la ville de Saguenay, a signalé l'existence du travail de Potvin et al. (2001), réalisé à l'occasion du 30<sup>e</sup> anniversaire de la coulée de Saint-Jean-Vianney, travail d'investigation sur le terrain, et de mise à jour des connaissances sur le site et sur les comportements possibles des masses argileuses remaniées par un glissement antérieur.

Enfin, Mesdames Marie Line Tremblay et Brigitte Poirier, professionnelles de recherche au Consortium de recherche en exploration minérale, ont participé à la lecture critique du présent texte. Madame Nadia Villeneuve, conseillère en information documentaire, Madame Claudine Simard et Monsieur Réal Beauregard, techniciens en documentation, ont supporté l'auteur avec leur expertise

Format de référence suggéré :

Roy, D.W., 2016. Les glissements de terrain à Saint-Jean-Vianney, 45 ans plus tard. Éléments de réflexion. Cahier 2106-01, Centre d'études sur les ressources minérales (CERM) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), 15 p.

Disponible en ligne à la bibliothèque de l'UQAC sous la cote :

< <http://constellation.uqac.ca/3713/> >

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES FIGURES	v
A) <u>INTRODUCTION</u>	1
B) <u>SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE</u>	
1) SOCLE CRISTALLIN	1
2) GLACIER CONTINENTAL	3
3) DÉPÔTS QUATERNAIRES	3
4) RELIEFS DES TERRAINS ÉMERGÉS	3
C) <u>GLISSEMENTS DE 1663 ET DE 1971</u>	4
1. GLISSEMENT DE 1663	4
2. GLISSEMENTS DE 1971	5
a. Première coulée (20 avril 1971)	5
b. Coulée principale (4 mai 1971)	6
D) <u>TRAVAUX GÉOTECHNIQUES</u>	8
1. ÉTUDE DE CARACTÉRISATION (1971 ET 1972)	8
2. NOUVEAU CONCEPT	9
3. INVESTIGATION COMPLÉMENTAIRE (2000-2001)	10
E) <u>QUESTIONNEMENT SUR LA SÉCURITÉ FUTURE DU SITE</u>	11
1. GLISSEMENT COMPLEXE DE 1663	11
2. COULÉES DE 1971	11
3. SÉCURITÉ FUTURE DU SITE	12
F) <u>CONCLUSION</u>	12
G) <u>RÉFÉRENCES</u>	13

## LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1- <u>SECTEUR DE SAINT-JEAN-VIANNEY</u>	2
Figure 2- <u>MOUVEMENT EN MASSE DE TYPE « RÉTROGRESSIF »</u>	5
Figure 3- <u>COULÉE MINEURE DU 20 AVRIL 1971</u>	6
Figure 4- <u>COULÉE DU 4 MAI 1971</u>	7
Figure 5- <u>SITES DE DÉPÔT DANS LE FJORD</u>	8
Figure 6- <u>GABIONS SUR LA RIVIÈRE PETIT-BRAS</u>	9
Figure 7- <u>POSITION DES 4 SURFACES DE GLISSEMENT</u>	11

## A) INTRODUCTION

Le glissement de terrain catastrophique du 4 mai 1971 à Saint-Jean-Vianney s'est développé à l'intérieur de la cicatrice d'un glissement de terrain plus ancien de dimension beaucoup plus grande. Cette disposition particulière complique l'analyse des mécanismes à l'origine de l'évènement et rend plus difficile la réponse à la question : « Y en aura-t-il un autre ? ».

Vous trouverez donc ci-dessous une synthèse géologique et géomorphologique des terrains affectés par le glissement du 4 mai 1971, et une discussion de la sécurité du site. La synthèse débute par une revue rapide des nombreuses zones fissurées du socle cristallin régional, et de leurs effets possibles sur la formation et le comportement des dépôts meubles locaux qui le recouvrent. Elle se poursuit avec les glaciations continentales récentes qui ont modelé le relief du socle rocheux (sommets adoucis, et vallées sur-creusées et parfois élargies) et qui ont enfoncé le continent. À la fonte du glacier, la mer « Laflamme » a profité du bas niveau temporaire du continent pour envahir les basses terres de la région et y laisser des argiles et des sables marins jusqu'à l'ouest du lac Saint-Jean. Finalement, la remontée du continent a exposé ces dépôts marins à l'érosion normale des terres émergées, érosion qui se manifeste régulièrement par des décrochements et des glissements de terrain.

La synthèse se concentre ensuite sur les deux glissements de terrain connus de Saint-Jean-Vianney, à savoir l'énorme glissement complexe<sup>1</sup> de 1663 et la coulée d'argile catastrophique de 1971, et sur les études géotechniques qui ont suivi. La première étude, par LaRochelle (1974), a permis de sécuriser le site sans toutefois élucider complètement les causes de l'évènement. La seconde étude par Lefebvre (1984) discute du rôle que peut jouer l'eau souterraine dans les glissements de terrain au Québec. Cependant, à notre connaissance, les modèles développés par cet auteur n'ont pas encore été appliqués au cas de Saint-Jean-Vianney. Une autre étude, faite à l'occasion du 30<sup>e</sup> anniversaire de l'évènement par Potvin et al. (2001), discute de façon plus particulière des risques de glissement dans du matériel argileux déjà perturbé par un glissement antérieur. Enfin le texte propose en conclusion l'examen de quelques problématiques pour mieux comprendre les glissements de Saint-Jean-Vianney afin d'améliorer l'évaluation de la sécurité du site.

## B) SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

### B1. SOCLE CRISTALLIN

Le roc dans le secteur de Saint-Jean-Vianney (figure 1) se compose d'anorthosite (« granite noir »), une roche intrusive datant 1,160 millions d'années et mise en place pendant la construction de la chaîne du Grenville (1,190 à 980 millions d'années; Hébert et van Breemen, 2004). L'érosion profonde de la chaîne du Grenville (20 à 25 kilomètres d'épaisseur dans la région) et les diverses dislocations et collisions de plaques tectonique qui ont suivi<sup>2</sup> ont donné au socle cristallin des Laurentides<sup>3</sup> son aspect actuel. Dans

---

<sup>1</sup> La partie déplacée est segmentée en plusieurs compartiments.

<sup>2</sup> La chaîne de montagnes du Grenville au cœur du supercontinent « Rodinia » a commencé à se disloquer en plaques tectoniques séparées par de nouveaux océans, il y a 850 millions d'années. Puis le début de la construction des Appalaches, il y a 450 millions, amorce la formation du nouveau supercontinent « Pangée ». Ce dernier commence à se disloquer avec l'ouverture de l'océan Atlantique, il y a 190 millions d'années.

<sup>3</sup> Marge sud-est du Bouclier canadien entre les grands lacs et l'océan Atlantique.

la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean, ce socle est traversé par le graben du Saguenay<sup>4</sup> et de nombreuses zones fissurées (DuBerger et al., 1991 ; Tremblay et al., 2013) dont la présence a pu contribuer aux glissements de terrain de 1663 et de 1971 à Saint-Jean-Vianney.

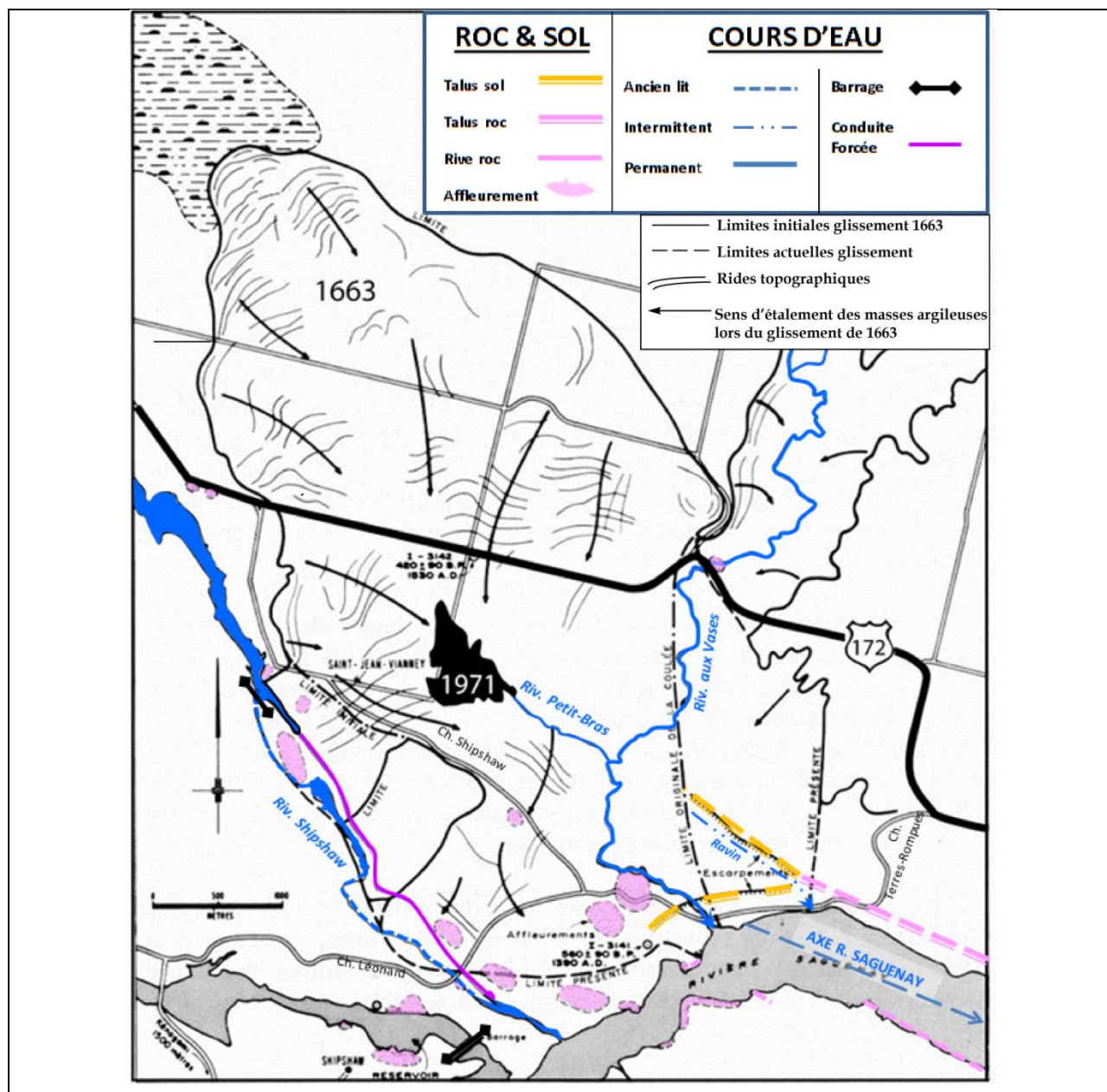


Figure 1- **SECTEUR DE SAINT-JEAN-VIANNEY**. Modifié de Chagnon (1968) : Ajouts (colorés) : Escarpements et affleurements de roc; axe d'un segment du Saguenay; ravin mineur aligné avec le mur nord du Saguenay à l'est et la rivière Petit-Bras à l'ouest; talus de dépôts meubles.

<sup>4</sup> Le graben du Saguenay est le fossé d'effondrement tectonique qui a favorisé le peuplement du Saguenay – Lac-Saint-Jean. Ce fossé, formé en quelques étapes entre 400 et 180 millions d'années, mesure 250 km de long de Tadoussac au lac à Jim (à l'ouest du lac Saint-Jean) et 50 km de large entre un mur nord allant du lac Tchitogama au Saint-Laurent en passant au pied du mont Valin et la rivière Sainte-Marguerite, et un mur sud allant de la Baie des Ha! Ha! à Notre-Dame du Rosaire en passant par le lac Kénogami, le lac Vert et Val-Jalbert.

## B2. GLACIER CONTINENTAL

L'épaisseur de 3 à 4 kilomètres du glacier continental<sup>5</sup>, à son étendue maximale il y a 18 000 ans, lui a permis de marquer profondément tous les reliefs de la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean : montagnes en dos de mouton, surcreusement de nombreuses vallées rectilignes vis-à-vis plusieurs des zones fissurées du socle, élargissement de plusieurs auges glaciaires dont le lac Kénogami, la rivière Saguenay et le lac Tchitogama, et excavation profonde des segments de la rivière<sup>6</sup> et du fjord du Saguenay<sup>7</sup>. Le rôle possible de ces entailles sur la circulation de l'eau souterraine et sur des glissements de terrains demeure encore aujourd'hui mal connu.

## B3. DÉPÔTS QUATÉNAIRES

Le poids du glacier a enfoncé le continent comme le fait une cargaison pour un bateau. Amorcé au début de la dernière grande glaciation continentale (81 000 ans), cet enfoncement se termine au maximum glaciaire (18 000 ans) et a atteint plusieurs centaines de mètres de profondeur. À la fin de la fonte du glacier dans la région (10 000 ans), le continent avait récupéré environ le 2/3 de son enfoncement (Roy et al, 2011). Ce retard du relèvement par rapport à la fonte a favorisé un envahissement de toutes les basses-terres de la région par la mer « Laflamme<sup>8</sup> ». Depuis, les 160 m de relèvement<sup>9</sup> subséquent ont exposé à l'érosion les sédiments marins déposés par cette mer (Tremblay, 1971 et 1976; Lasalle et Tremblay, 1978; Daigneault et al., 2011 ; CERM-PACES, 2013a et b). Les dépôts de surface impliqués dans les glissements de terrain de Saint-Jean-Vianney se composent donc d'argile et de sable marins déposés suite à la fonte du dernier grand glacier continental qui a recouvert la région<sup>10</sup>. Ces dépôts se sont formés en milieu marin froid<sup>11</sup> comme l'indiquent les petits coquillages ( $\pm 1$  cm) que l'on trouve ici et là à Saint-Jean-Vianney.

## B4. RELIEFS DES TERRAINS ÉMÉRGÉS

Dans le secteur de Saint-Jean-Vianney, la rive nord du Saguenay est généralement bordée de talus et d'escarpements rocheux à l'exception d'une zone localisée dans le coude de la rivière Saguenay où se trouve l'embouchure de la rivière aux Vases (Figure 1). Les dépôts meubles montrent, dans le même secteur, divers types de relief d'érosion : des terrasses d'érosion étagées laissées par la mer Laflamme

---

<sup>5</sup> Il y a eu plusieurs glaciations continentales en Amérique du Nord au cours des 2 à 3 derniers millions d'années. La dernière est la seule dont les traces sont bien visibles dans la région. Son rôle a été de poursuivre le travail d'érosion amorcé par les précédentes.

<sup>6</sup> Le rivière Saguenay prend sa source au lac Saint-Jean et rejoint le fjord à Saint Fulgence. Elle présente plusieurs segments rectilignes dont celui entre l'embouchure de la rivière aux Vases et le cap Saint-François à Chicoutimi (Figure 1).

<sup>7</sup> Le fjord du Saguenay mesure entre 2 et 4 km de large, et de 100 km de long entre Tadoussac à l'est et ses deux têtes (à l'ouest), Saint-Fulgence et la Baie. La profondeur d'eau est de 260 m au pied du cap Éternité et le creusement au roc sous le sommet de ce dernier est d'environ 1,9 km.

<sup>8</sup> La mer Laflamme à son maximum a recouvert toute la zone agricole du lac Saint-Jean et toutes celles du Haut-Saguenay. Le fjord du Saguenay est toujours un milieu marin couvert d'une couche d'eau douce de 10 à 20 mètres d'épaisseur selon les saisons.

<sup>9</sup> Relèvement qui se poursuit au taux 3,5 mm par année dans le secteur de Saint-Jean-Vianney (Vanicek et Hamilton, 1972).

<sup>10</sup> Les fines particules d'argile se déposent d'abord alors que le fond marin est encore sous la limite d'action des vagues, puis les sables transportés par la rivière Shipshaw qui viennent les recouvrir au fur et à mesure que le continent remonte.

<sup>11</sup> Milieu marin comparable à celui des côtes du Labrador où des coquillages similaires sont présents.



pendant le soulèvement isostatique des terrains<sup>12</sup> (Bouchard et al, 1982 et 1983), les vallées fluviales des rivières Shipshaw et aux Vases<sup>13</sup>, les ravins de ruisseaux permanents (dont le Petit-Bras) et intermittents, et des cicatrices de glissements de terrain à la fois le long des cours d'eau et autour de Saint-Jean-Vianney. Ces cicatrices occupent la majeure partie du territoire autour de l'ancien village de Saint-Jean-Vianney et forment une « *topographie bosselée, avec des crêtes sableuses des formes en mesa<sup>14</sup> et de nombreuses petites mares non intégrées au réseau hydrographique* » (Potvin et al., 2001). N'y échappent que les basses terrasses près de l'embouchure de la rivière aux Vases et la grande terrasse<sup>15</sup> qui domine le site au sud de la coulée de 1971.

### C) GLISSEMENTS DE 1663 ET DE 1971

#### C1. GLISSEMENT DE 1663

Le glissement de 1663<sup>16</sup> forme une vaste cuvette de 7,5 km de longueur par 4 km de largeur (superficie d'environ 22 km<sup>2</sup>) et d'une cinquantaine de mètres de profondeur entre les rivières Shipshaw et aux Vases (figure 1; Chagnon, 1968; Lasalle et Chagnon, 1968). Il s'agit de deux glissements rétrogressifs majeurs<sup>17</sup> (figure 2) emboîtés l'un dans l'autre. La couche supérieure se fragmente et se désagrège partiellement sous l'effet du mouvement, mais ses compartiments conservent une cohésion interne tout en se déformant. Ces blocs sont généralement plus ou moins basculés, mais parfois horizontaux. Au final, cela se manifeste par une série de blocs relativement intacts<sup>18</sup> reposant sur un plancher commun correspondant à la surface du glissement. Les pans d'argile stratifiée, coiffés de sable et visibles dans le talus abrupt du versant est du ruisseau Petit-Bras, reflètent la présence de tels blocs dans la couche superficielle du glissement de 1663. Le rang des « Terres Rompues », qui longe la rive nord du Saguenay à l'embouchure de la rivière aux Vases doit son toponyme à l'expression qu'a choisie le missionnaire qui a décrit l'état des lieux suite à un portage vers le lac Saint-Jean à l'été 1664 (Bouchard, 1991).

<sup>12</sup> Les plus basses de ces terrasses d'érosion sont recoupées par la rivière aux Vases près de son embouchure dans le Saguenay.

<sup>13</sup> Cette rivière doit son nom à la fréquence des décrochements pelliculaires et des glissements de terrains qui se produisent sur ses versants et qui en font un exutoire fréquent de boues argileuses dans la rivière Saguenay.

<sup>14</sup> Mesa : élévation de terrain avec un toit plat et horizontal.

<sup>15</sup> Ces terrasses peuvent être suivies le long de la rive nord du Saguenay jusqu'à Saint-Fulgence.

<sup>16</sup> Ce glissement complexe a vraisemblablement été provoqué par le tremblement de terre survenu en Charlevoix le 5 février 1663 (Lallemand, 1663; Marie de l'Incarnation, 1663; Locat et al., 2003 et 2008) et auquel on attribue maintenant une magnitude entre 7 à 8 sur l'échelle de Richter.

<sup>17</sup> Dans un glissement rétrogressif, une couche de matériel géologique se subdivise en segments qui glissent et s'étalent sur une couche plus profonde grâce à un niveau assoupli entre les deux. La couche plus profonde demeure intacte. Dans le cas de Saint-Jean Vianney, un deuxième glissement rétrogressif, plus profond, s'est développé au cœur du premier (voir section D3, p. 9, et figure 6, p.10).

<sup>18</sup> Ordre de grandeur des blocs : dizaine de mètres de hauteur par une centaine de mètres de largeur (mesurée parallèlement au sens de glissement) et de longueur kilométrique. Un mélange de matériel désagrégé sépare les blocs et des poches de sable plus ou moins élevées en coiffent plusieurs.

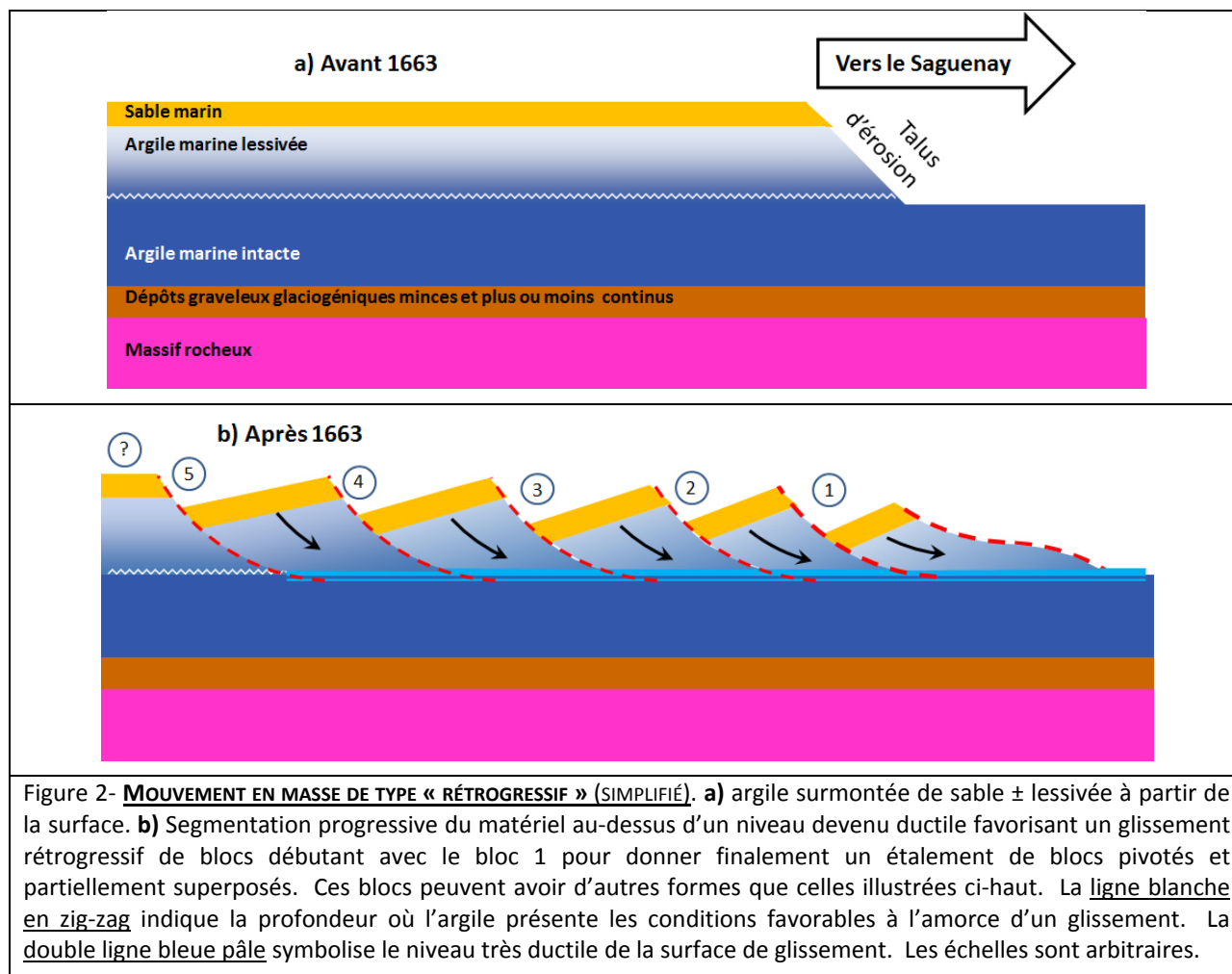


Figure 2- **MOUVEMENT EN MASSE DE TYPE « RÉTROGRESSIF » (SIMPLIFIÉ)**. a) argile surmontée de sable  $\pm$  lessivée à partir de la surface. b) Segmentation progressive du matériel au-dessus d'un niveau devenu ductile favorisant un glissement rétrogressif de blocs débutant avec le bloc 1 pour donner finalement un étalement de blocs pivotés et partiellement superposés. Ces blocs peuvent avoir d'autres formes que celles illustrées ci-haut. La ligne blanche en zig-zag indique la profondeur où l'argile présente les conditions favorables à l'amorce d'un glissement. La double ligne bleue pâle symbolise le niveau très ductile de la surface de glissement. Les échelles sont arbitraires.

## C2. GLISSEMENTS DE 1971

### a. Première coulée (20 avril 1971<sup>19</sup>, 1 ha).

Cette coulée, développée en bordure ouest du ruisseau Petit-Bras (figure 3), a laissé un plateau à peu près carré, dépourvu de végétation et d'une trentaine de mètres sous le niveau des terres agricoles. Le matériel mobilisé s'est d'abord déversé dans le ruisseau Petit-Bras, puis s'est écoulé par la rivière aux Vases dans le Saguenay où une bande d'eau, chargée d'argile en suspension, est demeurée visible jusqu'au-delà Chicoutimi. Le plancher de la coulée se situe une douzaine de mètres au-dessus du lit du ruisseau Petit-Bras. Un autre plancher, semblable et de même niveau, mais deux à trois fois plus grand et avec de jeunes arbres, prolonge le premier plancher au centre de la figure 3. Quelle est l'origine de ces planchers<sup>20</sup>?

<sup>19</sup> Potvin et al. (2001) indiquent la date du 28 avril 1971 pour le même événement. La date du 20 est conservée dans le présent texte, car basée sur des témoignages de première main, et aussi reprise par Wikipédia (consulté vers le 25 avril 2016).

<sup>20</sup> De tels planchers plats sont inhabituels pour les cicatrices de coulées argileuses qui présentent généralement des formes arrondies de cuiller.

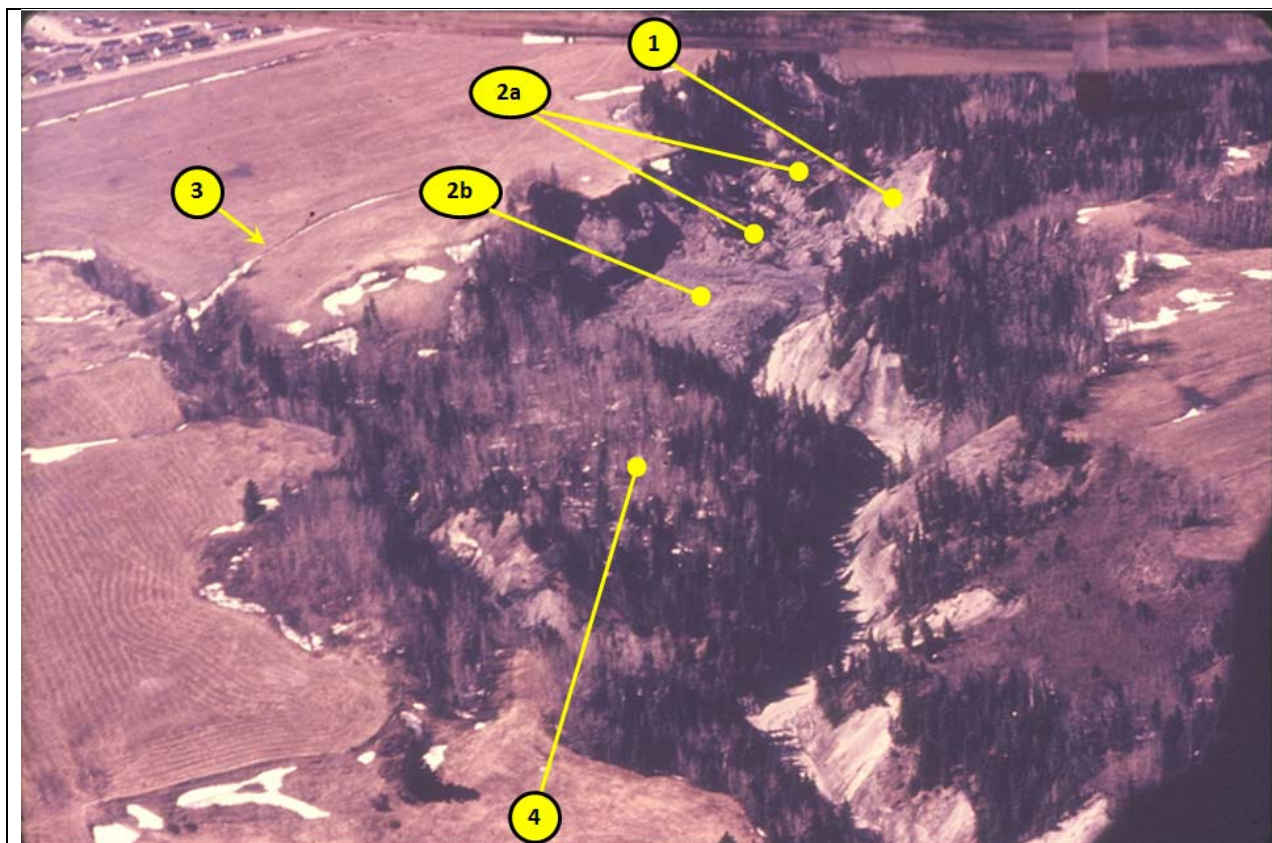


Figure 3- **COULÉE MINEURE DU 20 AVRIL 1971**. Vue vers le nord-ouest. Au centre : le ruisseau Petit Bras encaissé dans les terres agricoles; son versant nord-est montre un talus abrupt d'argile gris clair surmonté de sable à pente modérée et généralement couvert de végétation. À droite (NE): surface ondulante cultivée. Coin gauche en haut (O) : extrémité du développement résidentiel récent. **1** : Talus d'argile à l'est du ruisseau Petit-Bras. **2a** : Bouquets d'arbres accrochés sur le talus ouest; **2b** : plancher plat dégarni de végétation (environ 100 m par 100 m en superficie). **3** : Fissure ou petit gradin courbe souligné par la neige résiduelle (environ 200 m de longueur). **4** : Plancher plat couvert de feuillus avec résineux en bordure. Photo Yvon Boudreault et géographe de l'UQAC

#### b. **COULÉE PRINCIPALE** (4 mai 1971; 32 ha)

La coulée principale a débuté pendant la soirée le 4 mai 1971 et s'est achevée le lendemain (figure 4). Heureusement, beaucoup de gens écoutaient la finale de la coupe Stanley à la télévision et ont pu évacuer leur maison avant qu'elle disparaisse dans le gouffre de la coulée. Autrement, le bilan de 31 morts pour 42 maisons détruites aurait été beaucoup plus catastrophique. Le village a été évacué et les sinistrés ont été majoritairement relogés de l'autre côté du Saguenay à l'ouest d'Arvida (Pomerleau, 1996; Tremblay, 2005); mais certains d'entre eux n'ont jamais pu retrouver leur sens du « chez-soi » (Maltais et al., 2001).

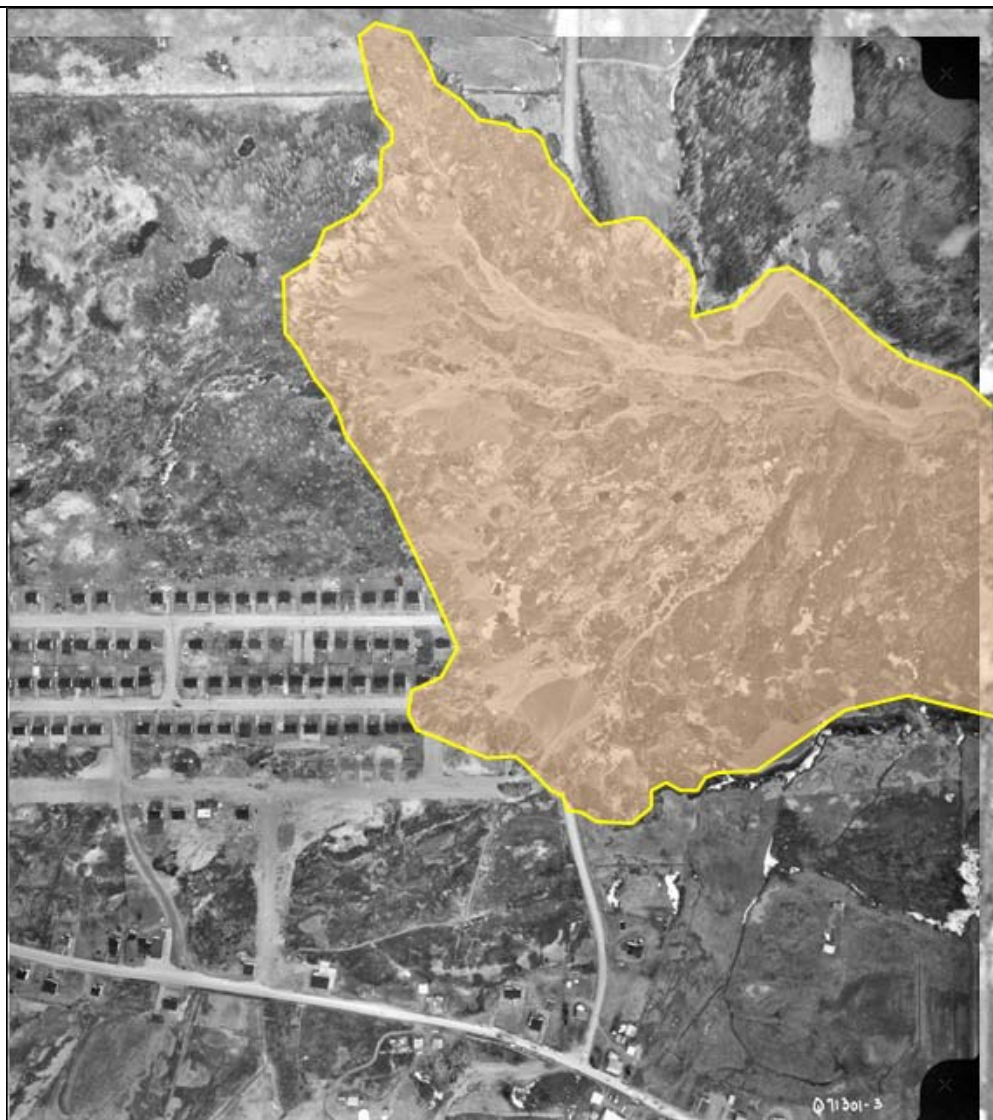


Figure 4- **COULÉE DU 4 MAI 1971**. Zone beige : étendue de la coulée. Cônes de sable blanchâtres au pied du talus du côté ouest. Zone humide au nord-ouest. Photo aérienne Q71301-3. (Roy et Cousineau, 2016)

La cicatrice de la coulée principale, de forme triangulaire, mesure 1,100 m de longueur par 600 m de largeur<sup>21</sup> pour une superficie de 200 000 m<sup>2</sup>, soit 20 ha (0,2 km<sup>2</sup>). Sa profondeur, variant d'une quinzaine à une trentaine de mètres, rejoint le plancher de la coulée du 20 avril à proximité immédiate du ruisseau Petit-Bras. Il semble que l'extension de la coulée du 4 mai vers le sud-est se soit arrêtée sur une série de grosses poches de sable gorgées d'eau et intercalées entre des pans d'argile. Aussitôt libérées de leur paroi d'argile, ces poches de sable se sont affaissées sur elles-mêmes pour former un cône de sable étalé à la base de chacune à la bordure ouest de la cicatrice de la coulée<sup>22</sup>.

<sup>21</sup> Hauteur du triangle dessiné sur la carte (figure 1).

<sup>22</sup> Ces cônes de sable, bien visibles sur les photos aériennes de l'été 1971, ont été masqués sous les déblais produits par les travaux d'adoucissement des parois abruptes de la cicatrice du glissement à la fin de l'été 1971.



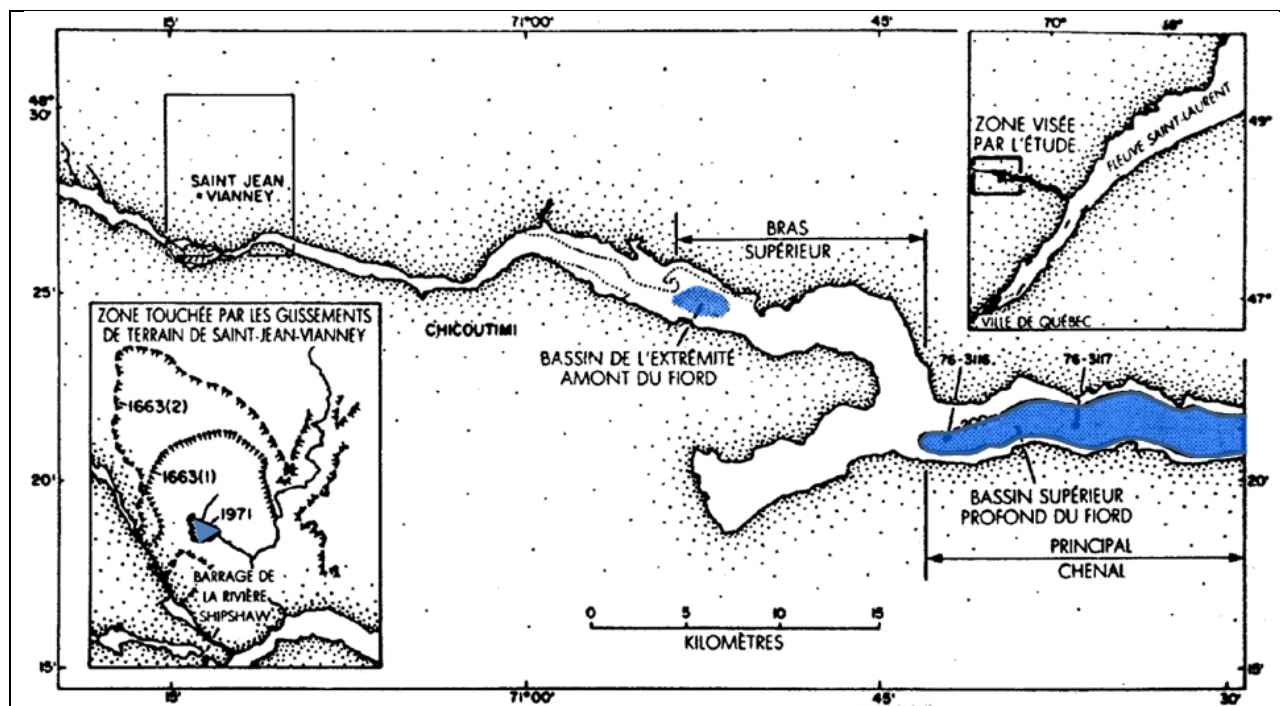


Figure 5- SITES DE DÉPÔT DANS LE FIORD. La coulée de boue et de débris s'est déposée en deux parties : 1- à l'extrémité amont du fjord entre Saint Fulgence et la pointe aux Pins et 2- dans le bassin supérieur du fjord entre le cap à l'Ouest et l'Anse Saint-Jean (tiré de Smith, 1990).

La coulée de boue argileuse a suivi la vallée du ruisseau Petit-Bras et de la rivière aux Vases, et a arraché le pont du rang des Terres-Rompues au passage. Elle a poursuivi son chemin dans la rivière Saguenay pour rejoindre le fjord et y déposer, au-delà de Saint-Fulgence, deux zones de sédiments et débris (figure 5). La première, une zone de matériaux plus grossiers entre le cap aux Roches et la pointe aux Pins et la deuxième, une zone de matériaux fins, dans la fosse principale du fjord<sup>23</sup> (Smith, 1990). De nombreux débris de maison et au moins une automobile<sup>24</sup> ont tapissé les abords de la rivière aux Vases en amont du Saguenay. Le tablier du pont des Terres-Rompues est demeuré longtemps visible à marée basse devant l'embouchure de la rivière aux Vases.

#### D) TRAVAUX GÉOTECHNIQUES

##### D1. ÉTUDE DE CARACTÉRISATION (1971 et 1972)

À l'été 1971, une étude géotechnique exhaustive du site permet la caractérisation détaillée du glissement de terrain, mais sa cause ultime est demeurée évasive (LaRochelle, 1974), d'où la décision des autorités d'évacuer le site et d'y interdire des constructions futures. Entre autres, l'analyse chimique de l'eau interstitielle<sup>25</sup> des dépôts d'argile a montré des différences de composition selon la profondeur. Les argiles les plus profondes montrent une composition d'eau semblable à l'eau de mer alors que les

<sup>23</sup> Bassin supérieur du fjord d'une cinquantaine de kilomètres de longueur centré sur l'embouchure de la rivière Éternité.

<sup>24</sup> Un hélicoptère de l'armée en a rescapé la conductrice le lendemain matin à quelques centaines de mètres du Saguenay sur le côté ouest de la rivière aux Vases.

<sup>25</sup> Emmagasinée entre les particules de dépôts d'argile.

argiles plus superficielles semblent progressivement lessivées par les eaux des précipitations. Les travaux de rémediation géotechnique (pose de gabions<sup>26</sup>, figures 6a et 6b) ont très bien réussi à stabiliser le niveau d'érosion du ruisseau Petit-Bras, mais donnent des résultats mitigés pour les rives des ruisseaux qui se sont développés au fond de la cicatrice de 1971. Les nombreux piézomètres<sup>27</sup>, posés dans le secteur de Saint-Jean-Vianney, ont été visités régulièrement pendant des années<sup>28</sup> pour suivre les variations de niveau de la nappe d'eau souterraine. Ces informations n'ont pas été exploitées à notre connaissance, mais elles devraient être disponibles à la division géotechnique du ministère des Transports du Québec.

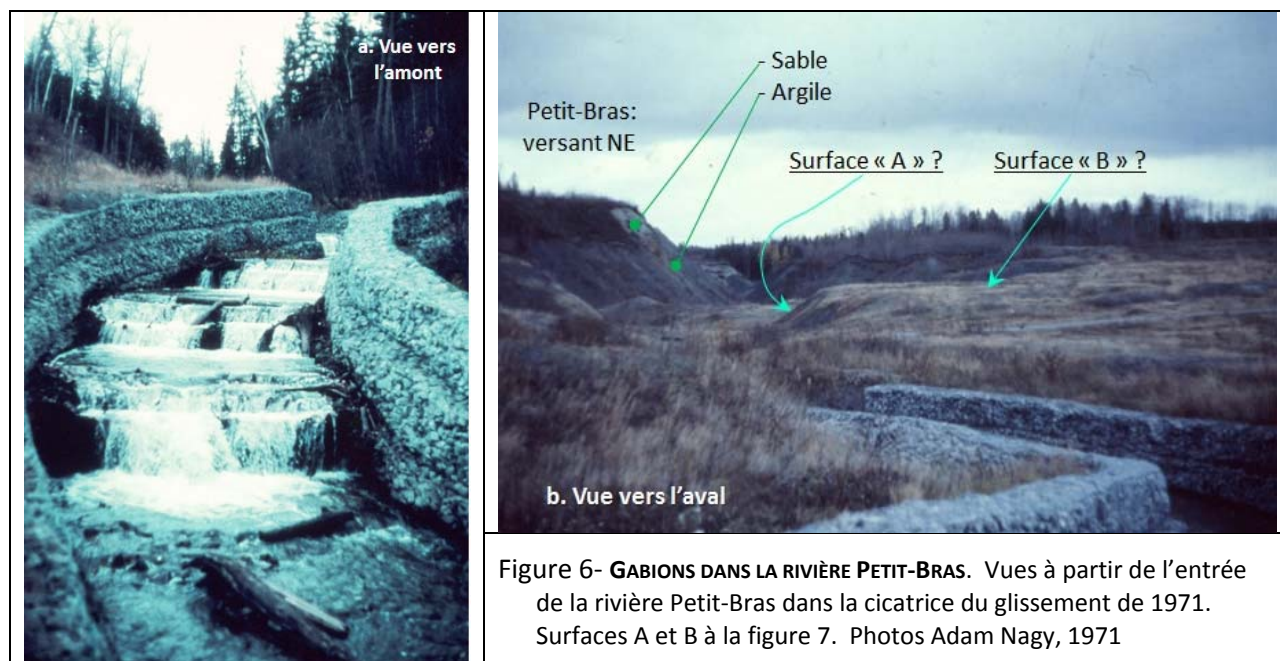


Figure 6- **GABIONS DANS LA RIVIÈRE PETIT-BRAS.** Vues à partir de l'entrée de la rivière Petit-Bras dans la cicatrice du glissement de 1971. Surfaces A et B à la figure 7. Photos Adam Nagy, 1971

## D2. NOUVEAU CONCEPT (1984)

La catastrophe de Saint-Jean-Vianney a provoqué de nombreux changements tant sur la question de la sécurité civile (Sécurité civile, 2005) qu'au point de vue scientifique (Lefebvre, 1984). Ce dernier relie l'occurrence et l'importance de nombreux glissements de terrain à la présence et à la pression interne d'une nappe d'eau souterraine captive en profondeur<sup>29</sup> sous l'argile. Ainsi, un ravin de faible profondeur et un versant au pied duquel la nappe captive se décharge ne montreront généralement que de minces décrochements pelliculaires<sup>30</sup>. Toutefois, les pires glissements de terrain se produisent préférentiellement à la fin du printemps après la fonte des neiges dans les ravins où la couche d'argile est assez érodée pour donner une bonne profondeur au ravin sans être complètement traversée. Alors, lorsque la pression interne de l'eau dans la nappe captive sous l'argile encore présente dans la partie

<sup>26</sup> Les gabions sont des cages de broche rectangulaires remplies de cailloux que l'on peut empiler pour faire, notamment, des seuils le long de cours d'eau ou les aligner pour stabiliser des rives de ruisseaux.

<sup>27</sup> Trou de forage protégé par un tuyau perforé qui permet de mesurer le niveau de la nappe phréatique en tout temps.

<sup>28</sup> Lectures abandonnées depuis plusieurs années.

<sup>29</sup> Aquifère confiné.

<sup>30</sup> Écroulement d'une galette d'épaisseur métrique et de largeur décamétrique.

inférieure du ravin augmente, elle peut réduire assez la résistance mécanique de l'argile pour provoquer un glissement catastrophique. Enfin, dans le cas où le ravin est assez profond pour que la nappe captive s'y décharge, ce sont surtout les décrochements pelliculaires sur les versants qui sont à craindre.

### D3. INVESTIGATION COMPLÉMENTAIRE (2000-2001)

Le trentième anniversaire de la coulée du 4 mai 1971 a été l'occasion de nouveaux travaux sur le site par le ministère des Transports du Québec et deux chercheurs de l'Université Laval, les professeurs LaRoche, génie civil, et Chagnon, génie géologique (Potvin et al., 2001). Ils se sont particulièrement intéressés aux propriétés mécaniques des argiles déjà affectées par le glissement de 1663 tout en documentant les surfaces de glissement identifiables. Ils ont procédé par sondage au piézocône<sup>31</sup> (13 sondages) et au scissomètre (1 sondage), et par 2 forages avec échantillonnage.

Leurs travaux ont permis l'identification de quatre surfaces de glissement distinctes à l'intérieur de la cicatrice de 1663 appelées « phases A, B, C et D » à la figure 7. La surface « A » se situe à 12,5 m au-dessus du lit du ruisseau Petit-Bras et correspond à la cicatrice de la « première coulée » du 20 avril 1971 qui s'est produite dans de l'argile intacte. Ce glissement de 1971 a ouvert une brèche dans l'argile plus sèche du versant ouest de la rivière Petit-Bras, brèche qui a favorisé la mobilisation imperceptible, puis de plus en plus rapide, de l'argile saturée d'eau jusqu'à ce qu'elle se liquéfie et engendre la « coulée principale » du 4 mai 1971 rapidement devenue catastrophique.

Figure 7- **POSITION DES 4 SURFACES DE GLISSEMENT (DE LA PLUS BASSE À LA PLUS HAUTE).**

Surface « A » (~ 44 m d'altitude, 20 avril 1971).

Surface « B » (~ 49 m d'altitude, 4 mai 1971).

Surface « C » (~ 55 m d'altitude, 1663 centre).

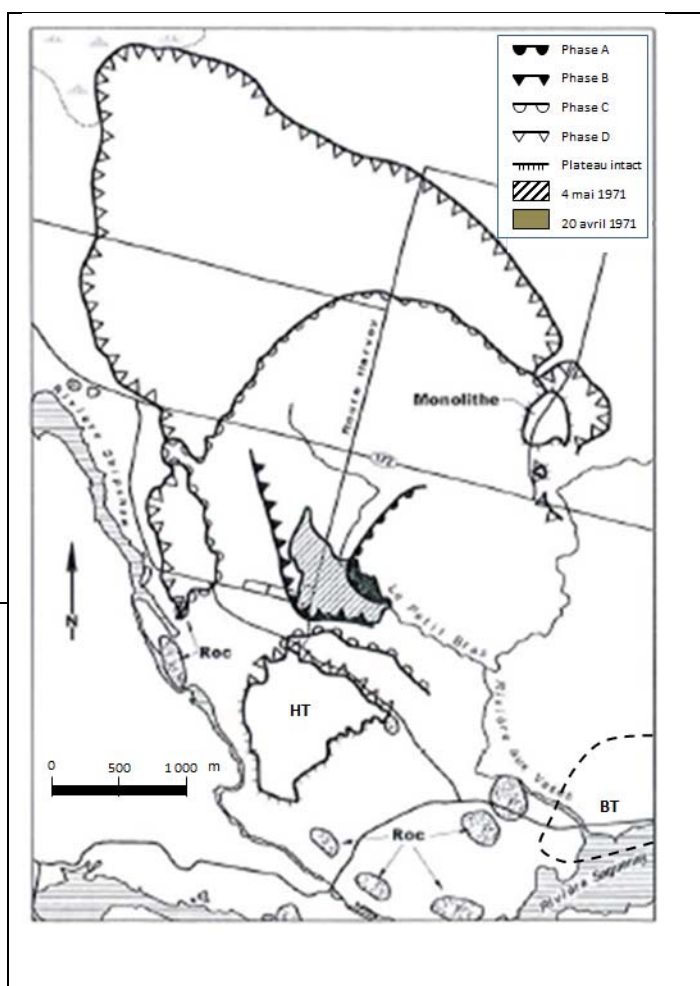
Surface « D » (~ 81 m d'altitude, 1663 distal).

Monolithe : bloc déplacé d'argile intacte

**BT** : basses terrasses marines

**HT** : Haute terrasse marine (plateau intact)

Modifié de Potvin et al. (2001).



La surface « B » forme le plancher de cette coulée. Selon les auteurs, cette coulée n'a impliqué que des colluvions<sup>32</sup> générées par le glissement complexe de 1663. Un talus d'argile intacte aurait bloqué la progression de la coulée vers l'ouest et sa base coïncide avec la semelle du glissement complexe de

<sup>31</sup> Piézocône : Le piézocône permet de mesurer les propriétés mécaniques pendant un sondage géotechnique.

<sup>32</sup> Ces matériaux sont diversement identifiés comme « colluvions » (nom féminin généralement employé au pluriel pour tous les matériaux transportés par un glissement de terrain) ou comme « argiles remaniées »

1663. La surface « C » représente le plancher de la zone tardive du glissement de 1663. La surface « D », plancher de la zone précoce du glissement de 1663 et localement visible au sud de la coulée du 4 mai 1971 (figure 7), se retrouve largement au nord-ouest de la cicatrice de 1663 où elle est recouverte de colluvions et de blocs d'argile intacte. La vallée dans le roc couverte de sédiments que les auteurs identifient, correspond bien à la vallée présumée entre la rivière Shipshaw et l'embouchure de la rivière aux Vases et dans le Saguenay (figure 1).

En somme, Potvin et al. (2001) apporte des connaissances nouvelles sur les glissements de Saint-Jean-Vianney et sur les propriétés mécaniques des colluvions et des argiles remaniées. L'identification de 4 surfaces de glissement (figure 7) et leurs mesures minutieuses de plusieurs propriétés mécaniques des dépôts meubles impliqués dans les glissements (1663 et 1971) rendent leur contribution incontournable. Cependant, ni les liens entre la chimie des eaux interstitielles dans les couches argileuses de la région, ni la présence de nappes d'eau souterraine captives sous les couches d'argile, et ni leurs effets potentiels sur les propriétés mécaniques n'ont été réévalués.

#### E) QUESTIONNEMENT SUR LA SÉCURITÉ FUTURE DU SITE

L'évaluation de la sécurité à long terme du site de Saint-Jean-Vianney exige une explication bien documentée des mécanismes à l'origine des glissements de 1663 et de 1971. Voici des questions à examiner en vue de nouvelles analyses de sécurité du site.

##### E1 GLISSEMENT COMPLEXE DE 1663.

Est-il possible de reconnaître les limites des blocs internes au glissement complexe de 1663 à l'aide des travaux géotechniques de 1972 et 1973? La ligne de poches de sable qui marquent la position d'arrêt de la propagation de la coulée principale de 1971 résultent-elles du glissement de 1663 ?

Le plancher du glissement tardif de 1663 (phase C, figure 7), identifiable dans les forages géotechniques réalisés suite aux glissements de 1971, correspond-t-il à la profondeur de lessivage des argiles marines ?

##### E2 COULÉES DE 1971.

Existe-t-il un AQUIFÈRE CONFINÉ sous la plaine agricole de Saint-Jean-Vianney? Cet aquifère pourrait relier la rivière Shipshaw à la rivière Saguenay sous le site de Saint-Jean-Vianney dans l'axe du segment de la rivière Saguenay (figure 1). Un petit ravin, un segment du ruisseau Petit-Bras, le glissement de 1971 se situent tous dans le prolongement du segment de la rivière Saguenay qui commence au coude où se trouve l'embouchure de la rivière aux Vases. Alors, si un tel aquifère confiné existe, a-t-il pu jouer un rôle analogue aux modèles de Lefebvre (1984)? Quelle est la charge hydraulique minimale maintenue dans les nappes phréatiques par le petit barrage sur la rivière Shipshaw vis-à-vis de Saint-Jean-Vianney? Quelle interprétation hydrogéologique peut être tirée des piézomètres implantés à Saint-Jean-Vianney? Le développement rapide du ravinement en surface dans la cicatrice de la coulée de 1971 malgré des travaux de canalisation réalisés en 1971 est-il normal ou indique-t-il la présence d'un autre phénomène ? Le développement domiciliaire du début des années 1960 a-t-il accéléré l'atteinte des conditions nécessaires aux glissements de 1971 ?



### E3 SÉCURITÉ FUTURE DU SITE

LaRoche (1974) a bien représenté le toit de la nappe « libre »<sup>33</sup> d'eau souterraine qui se moule essentiellement à la topographie actuelle à l'intérieur de la cicatrice de 1663. Où se situe le niveau piézométrique<sup>34</sup> d'une éventuelle nappe phréatique captive présente dans les sédiments graveleux et dans le roc fracturé sous le niveau d'argile (couche de confinement) ? Y a-t-il un lien hydrogéologique en nappe captive entre la rivière Shipshaw et l'embouchure de la rivière aux Vases dans le Saguenay, en suivant la ligne d'accidents topographiques illustrée en figure 1 ?

LaRoche (1974) souligne les risques de décrochements et de glissements que présentent les berges de la rivière aux Vases et du ruisseau du Petit-Bras. Est-il possible de préciser l'extension latérale de ces risques dans les diverses parties de ces cours d'eau en utilisant une cartographie plus poussée de la géométrie interne du glissement complexe de 1663 (poches de sable ?) et de données piézométriques à acquérir ?

### F) CONCLUSION

Les glissements de terrain de 1663 et de 1971 à Saint-Jean-Vianney requièrent de nouvelles études géotechniques pour évaluer la sécurité du site à long terme. Les travaux de remédiation effectués après la coulée catastrophique du 4 mai 1971 (LaRoche, 1974) ont permis jusqu'à présent un usage récréatif léger du site. Un élément essentiel à la sécurité future du site demeure l'entretien régulier des gabions installés dans le ruisseau Petit-Bras (figure 6) en amont de la zone du glissement de 1971 pendant les travaux de LaRoche en 1971. Ces gabions limitent la capacité érosive du cours d'eau en dissipant son énergie et en maintenant le niveau du seuil où ils sont installés. La stabilité relative du site depuis 45 ans témoigne de leur efficacité.

Les nouvelles connaissances sur les mécanismes de glissement de terrain au Québec, dont Lefebvre (1984), doivent maintenant être utilisées pour évaluer la sécurité du site à plus long terme. Ainsi, la présence et l'importance de nappes d'eau souterraine captives sous les argiles de Saint-Jean-Vianney sont les premiers éléments à investiguer. De telles nappes pourraient se trouver dans une zone fracturée du socle rocheux<sup>35</sup> ou encore dans les dépôts graveleux discontinus<sup>36</sup> présents sous l'argile? À Saint-Jean-Vianney, un tel aquifère<sup>37</sup>, enfoui sous les dépôts meubles, pourrait-il relier la rivière Shipshaw au segment de la rivière Saguenay entre l'embouchure de la rivière aux Vases et Chicoutimi?

Le dépôt d'argile marine qui s'étend sous l'ensemble du secteur de Saint-Jean-Vianney se subdivise en deux niveaux superposés à l'intérieur de la cicatrice du glissement de 1663 : un niveau intact à la base et

---

<sup>33</sup> Niveau où remonte l'eau dans un puits peu profond laissé au repos.

<sup>34</sup> Pression interne de l'eau dans un aquifère captif sous un niveau de confinement comme une couche épaisse d'argile.

<sup>35</sup> Les zones fracturées dans le roc se situent généralement au fond de sillons d'érosion qui découpent la surface du socle rocheux de la région du Saguenay. Ces sillons, d'orientations et de dimensions variées, entourent les bosses en dos de mouton qui caractérisent les reliefs de la surface du socle dans la région.

<sup>36</sup> La perméabilité de ces dépôts varie d'excellente à très faible et leur extension, souvent limitée, en fait des réservoirs naturels d'eau souterraine généralement petits.

<sup>37</sup> Corps géologique perméable contenant l'eau souterraine.

un autre au-dessus perturbé par le glissement<sup>38</sup>. La rivière aux Vases s'est creusé un lit dans l'argile intacte à l'est de la cicatrice de Saint-Jean-Vianney. Comment les perturbations dans les couches d'argile provoquées par le glissement de 1663 y affectent-elles le comportement de l'eau souterraine?

Le sable qui recouvre l'argile dans une bonne partie de la région de Saint-Jean-Vianney<sup>39</sup> continue de coiffer la grande majorité des compartiments d'argile du glissement de 1663. Bon aquifère, il se gorge d'eau partout où sa base est entourée d'argile. Ces réservoirs d'eau maintiennent-ils un niveau d'humidité élevé dans l'argile à l'intérieur de la cicatrice de 1663 et la rendent-elle plus facile à liquéfier? La disposition des blocs du glissement de 1663 permet-elle d'expliquer l'abondance de poches de sable à la limite ouest du glissement principal de 1971?

Si le glissement complexe de 1663<sup>40</sup> avait été déclenché par le tremblement de terre du 5 février 1663<sup>41</sup>, qu'en est-il du déclencheur du glissement de 1971? Ce dernier serait-il un cas où une goutte fait déborder le vase quand certaines conditions limites sont atteintes?

Ces diverses questions justifient une nouvelle évaluation de la sécurité du site autant dans le bassin versant du ruisseau Petit-Bras que sur les versants abrupts de ce dernier et de la rivière aux Vases.

#### G) RÉFÉRENCES

- Bouchard, R., Dion, D.J., et Tavenas, F., 1982. Origine de la préconsolidation des argiles du Saguenay, Québec. Université Laval, Génie civil, Rapport GCS 82-06, 34 p.
- Bouchard, R., Dion, D.J., et Tavenas, F., 1983. Origine de la préconsolidation des argiles du Saguenay, Québec. Revue canadienne de géotechnique, **20**(2) :315-328
- Bouchard, R. A., 1991. «Terres-Rompues et ses localités : le cataclysme de Saint-Jean-Vianney dans Villages fantômes, localités disparues ou méconnues du Haut-Saguenay, Chicoutimi, Société historique du Saguenay.
- CERM-PACES 2013a. *Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines de la région Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Centre d'études sur les ressources minérales, UQAC, 308 p, + 33 cartes format A0 + base de données
- CERM-PACES 2013b. *Atlas des eaux souterraines du Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi, 39 p.
- Chagnon, J.-Y., 1968. Les coulées d'argile dans la province de Québec. Naturaliste canadien, vol 95, p.1327-1343.
- Daigneault, R.A, Leduc, É., Beaudoin, G., Milette, S., Cousineau, P., Lamothe, M., Roy, D.W., and Horth, N., 2011. The quaternary geology mapping project of the Saguenay-Lac-Saint-Jean area (Québec): preliminary results. Proceedings of GeoHydro 2011, Joint Meeting of the Canadian Quaternary Association and the Canadian Chapter of the International Association of Hydrogeologists, August 28-31, 2011, Quebec City, Canada, 7 p
- Dieumegarde L. et Vallée J., 1999. Les anciens glissements de terrain au Saguenay. Université du Québec à Chicoutimi. <<http://www.uqac.ca/glissements/>>

---

<sup>38</sup> La segmentation des couches d'argile en blocs distincts interrompt la continuité latérale des couches d'argile et développe un matériel aux propriétés probablement différentes entre les blocs.

<sup>39</sup> La terrasse au sud du glissement de 1971 en fait partie.

<sup>40</sup> Comme plusieurs autres glissements entre Québec et Baie-Comeau, et entre le fleuve Saint-Laurent et le lac Saint-Jean

<sup>41</sup> La secousse principale et une réplique importante pourrait respectivement correspondre à ses phases précoce et tardive

- DuBerger, R., Roy, D.W., Lamontagne, M., Woussen, G., North, R.G., et Wetmiller, R.J., 1991. The Saguenay earthquake of November 25, 1988: seismological data and tectonic setting. *Tectonophysics*, 186: 59-74.
- Hébert, C., van Breemen, O.. 2004. Proterozoic tectonic evolution of the Grenville Orogen in North America. In Tollo, R. P.; Corriveau, L.; McLelland, J.; Bartholomew, M. J.; *Memoir - Geological Society of America*, 2004, Vol. 197, pp. 65-79
- Lallemant, Père Hiérosme, 1663. *Relations des Jésuites de 1663*. In : <http://tolkien2008.wordpress.com/2010/04/25/la-terre-a-tremblé-en-nouvelle-france-5-fevrier-1663>
- LaRochelle, P., 1974. Rapport de synthèse des études de la coulée d'argile de Saint-Jean-Vianney. Québec, Ministère des Richesses naturelles du Québec, 75 p.
- Lasalle, P. et Chagnon, J.Y., 1968. An ancient landslide along the Saguenay river, Québec. *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol 5, pp 548-549.
- Lasalle, P. et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles, Saguenay - Lac-St-Jean. Ministère des richesses naturelles, Rapport géologique 191.
- Lefebvre, G., 1984. Geology and slope instability in Canadian sensitive clays. 37<sup>th</sup> Canadian Geotechnical Conference, p.23-34.
- Locat, J. et Martin F., Locat P., Leroueil S., Levesque C., Konrad J.-M., Urgeles R., Canals M. & Duchesne M.J., 2003. « Submarine mass movements in the Upper Saguenay Fjord, (Québec, Canada), triggered by the 1663 earthquake ». Dans Locat J. and Mienert J., 2003. *Submarine Mass Movements and their Consequences*, Kluwer Academic Publishers, p.509-519, (consulté le 17 mars 2016).
- Locat, J., 2008. Localisation et magnitude du séisme du 5 février 1663 (Québec) revues à l'aide des mouvements de terrain. In : J. Locat, D. Perret, D. Turmel, D. Demers et S. Leroueil, (2008). *Comptes rendus de la 4e Conférence canadienne sur les géorisques: des causes à la gestion. Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards : From Causes to Management*. Presse de l'Université Laval, Québec, 594 p.
- Maltais, D., Robichaud, S. et Simard, A., 2001. *Désastres et sinistrés*. Chicoutimi, Les éditions JCL, 407 p.
- Marie de l'Incarnation, 1663 *in* Roy, P.G., 1930. *La ville de Québec sous le régime français : Rapport de l'archiviste*. Service des Archives, Province de Québec, Vol 1, pp 323-324.
- Pomerleau, G. 1996. Saint-Jean- Vianney, village englouti, Montréal, Humanitas, 1996, 241 p.
- Potvin, J., Pellerin, F., Demers, D., Robitaille, D., LaRochelle, P et Chagnon, J.Y., 2001. Revue et investigation complémentaire du site du glissement de Saint-Jean-Vianney. *Comptes-rendus de la 54<sup>e</sup> conférence canadienne de géotechnique, an earth odyssey (Calgary, 2001)*, pp 792-800 sur cédérom, CAN SGC 101-2001 Doc.élec. QTRD.
- Roy, D.W. et Cousineau P.A., 2016. Extrait des notes du cours Géomorphologie et géologie appliquées (6GLG206). Université du Québec à Chicoutimi.
- Roy, D. W., Beaudoin, G., Leduc, É., Rouleau, A., Walter, J., Chesnaux, R. et Cousineau, P., 2011. Isostasie postglaciaire différentielle au lac-Saint-Jean (Québec) et implications sur la qualité de l'eau souterraine. *Comptes-rendus, GeoHydro 2011, Congrès conjoint de l'Association canadienne du Quaternaire et du chapitre canadien de l'Association internationale des hydrogéologues*, 28-31 août 2011, Québec, Canada, Résumé étendu, 8 p.
- Sécurité publique Québec, 2005. Guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif : cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles au Saguenay—Lac-Saint-Jean.  
<<http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/publications-et-statistiques/guide-cartes-zones-glissement.html>>
- Smith, J.N., 1990. *La chronologie de la pollution et le paléoclimat révélés dans les sédiments du fjord du Saguenay*. *Bulletin canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 220, Ministère pêches et océans Canada, p.137-154.

- Tremblay, A., Roden-Tice, M. K., Joel A. Brandt, J.A.2, and Megan, T. W., 2013. Mesozoic fault reactivation along the St. Lawrence rift system, eastern Canada: Thermochronologic evidence from apatite fission-track dating. *GSA Bulletin*; May/June 2013; v. 125; no. 5/6; p. 794–810; doi: 10.1130/B30703.1; 9 figures; 2 tables.
- Tremblay, É., 2005. 4 mai 1971 : la fin du monde à Saint-Jean-Vianney. Cap-aux-Diamants : la revue d'histoire du Québec, n° 82, p. 38-42. <http://id.erudit.org/iderudit/7073ac>
- Tremblay, G., 1971. Géologie et géomorphologie quaternaires à l'Est du Lac-Saint-Jean. Thèse, Université de Paris 360 p.
- Tremblay, G., 1976. Géologie et géomorphologie quaternaires, partie est du Lac-Saint-Jean et Saguenay supérieur. Guide d'excursion, Département de géographie, Université Laval, Québec, 228 p.
- Vanicek, P. ; Hamilton, A. C., 1972. Further Analysis of Vertical Crustal Movement. Observations in the Lac Saint Jean Area, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **9** (9): 1139-1147.